5Ш

УДК 656.13.05

***В.Н. Шуть, А.Л. Согоян***
Брестский государственный технический университет, Беларусь
Беларусь, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267

# Организация адаптивного движения автотранспортных средств в улично-дорожной сети города

***V.N. Shuts, A.L. Sogoyan***
Brest State Technical University, Belarus
Belarus, 224017, Brest, st. Moskovskaya, 267

# *The Organization of Adaptive Motor Traffic in the Road Network of the City*

***В.Н. Шуть, А.Л. Согоян***
Брестський державний технічний університет, Білорусь
Білорусь, 224017, м. Брест, вул. Московська, 267

# Організація адаптивного руху автотранспортних засобів у вулично-дорожній мережі міста

Улучшение транспортной системы в направлении модернизации внешних средств организации движения транспортных потоков уже не приносит существенных результатов. В такой ситуации более эффективной может оказаться оптимизация поведения водителей во время движения (управление изнутри). Реализация такой системы основывается на уже существующей инфраструктуре мобильных устройств, которые есть сейчас практически у каждого. .Предлагается принципиально новый подход и взгляд на транспортные потоки. Необходимо управление ими производить не столько извне, а изнутри, через водителя транспортного средства
**Ключевые слова:** дорожное движение, стратегии вождения, адаптивное управление.

Improving the transport system in the direction of modernization of the external assets of the organization of traffic flow does not bring significant results. In such a situation, it may be more efficient optimization of the behavior of drivers while driving (controlling the inside). The implementation of such a system is based on the already existing infrastructure of mobile devices that are now almost everyone. A fundamentally new approach and look at the traffic flow. Must manage to make not so much from outside, but from within, by the driver of the vehicle.
**Key words:** traffic, driving strategies, adaptive control.

Поліпшення транспортної системи в напрямі модернізації зовнішніх засобів організації рухом транспортних потоків вже не приносить істотних результатів. У такій ситуації більш ефективною може виявитися оптимізація поведінки водіїв під час руху (управління зсередини). Реалізація такої системи ґрунтується на вже існуючій інфраструктурі мобільних пристроїв, які є зараз практично у кожного. Пропонується принципово новий підхід і погляд на транспортні потоки. Необхідно управління ними проводити не стільки ззовні, а зсередини, через водія транспортного засобу.
**Ключові слова:** дорожній рух, стратегії водіння, адаптивне управління.

## Введение

Функционирование транспортных систем в значительной степени определяет уровень социальных, экономических, экологических достижений и проблем городов. В рамках этих систем осуществляются перемещения грузов и пассажиров, которые

решают социально-экономические задачи городов, но при этом требуют определенных материальных затрат и характеризуются соответствующим уровнем качества. В этой связи в современных условиях повышение эффективности и безопасности функциионирования транспортных систем городов является важнейшей задачей.

Транспортная сеть наземных видов транспорта является основной подсистемой всей транспортной системы города. Именно в рамках этой подсистемы осуществляется более 95% всех городских перевозок. Поэтому функционирование транспортных сетей городов в значительной степени определяет выполнение требований эффективности, безопасности и комфортабельности ко всей транспортной системе.

В последнее время в городах наблюдается обострение транспортных проблем. Все отрицательные проявления этого явления обусловлены перегрузкой транспортных сетей городов избыточными объемами движения, более высокими темпами развития процесса автомобилизации по сравнению с темпами развития транспортных сетей. Для решения проблемы перегрузки транспортных сетей городов избыточными объемами движения сегодня применяются различные подходы, основанные на законномерностях формирования транспортных потоков в городах.

## Цель работы и постановка задачи

В литературе встречаются различные варианты систем оптимизации поведения водителя и рекомендаций в различных дорожных ситуациях. Так в [1] рассмотрена система с интеллектуальными светофорами и автомобилями, которые снабжены передатчиками wifi, образуя сеть на перекрестке, в рамках которой проводится оптимизация и выбор стратегии управления.

В работе [2] описан макет системы, работающей на основе мобильного смартфона водителя. Водитель устанавливает смартфон на панели возле лобового стекла, чтобы камера имела обзор дорожной обстановки. Приложение определяет на изображениях цветовой сигнал светофора и в зависимости от расстояния до перекрестка рекомендует водителю оптимальную скорость движения для преодоления перекрестка без задержки.

В работе [3] предлагается вдоль магистрали устанавливать ленту из ламп или газоразрядных трубок, которые будут светиться зеленым или красным светом по участкам. Светящиеся участки должны перемещаться вдоль магистрали со скоростью, равной скорости «Зеленой волны». Водителю достаточно выдерживать такую скорость, чтобы он находился в зеленой зоне.

В работе [4] проезд перекрестков без остановок в условиях интенсивного городского движения обеспечивает Указатель Оптимальной Скорости (УОП), разработанный А.Г. Плотниковым. Он предназначен для увеличения средней скорости движения автомобиля путем безостановочного проезда регулируемых автоматическими светофорами перекрестков.

Однако у приведенных систем существуют вполне определенные недостатки. Так, система, предложенная в [1], требует предварительного оборудования всех светофоров и автомобилей передатчиками wi-fi модулями gps и другими дорогостоящими системами. Водители старых автомобилей вообще не смогут воспользоваться такой системой. В системе [2] существует ключевой недостаток – зависимость от погодных условий и дорожной обстановки. Дождь, снег, большегрузные автомобили могут перекрывать обзор камеры, и система не будет работоспособной. Система [3] требует монтажа сложных вспомогательных средств на каждом перекрестке. Система [4] требует настройки «зеленой волны» для светофоров и не может применяться там, где волну настроить нельзя. Предлагаемая в данной работе система избавлена от большинства недостатков таких систем и, что самое главное, не требует существенных затрат на свое внедрение.

**Целью данной работы** является создание мобильного помощника водителя для выбора стратегии вождения – (MAICODS – Mobile Assistant In Choice Of Driving Strategy), которая должна привести к упорядочиванию дорожного движения и повышению эффективности транспортной сети.

# Ориентация водителей в пространстве стратегий вождения

Идея мобильного помощника водителя (МПВ) для выбора стратегии вождения заключается в следующем. В настоящее время многие водители обладают телефоном (смартфоном) коммуникатором, которые оборудованы GPS-навигацией. Система помощника водителя состоит из двух модулей – клиентского и серверного. Серверный модуль (СМ) располагается в специальном отделе ГАИ, который координирует светофорные объекты города. В этом отделе расположена автоматизированная система координации светофорных объектов (АСКСО), которая на специальном пульте отображает для оператора ГАИ текущее состояние транспортной системы города. СМ получает у АСКСО данные о состоянии конкретного светофорного объекта (текущий сигнал светофора) или его параметры функционирования. На основании этих данных СМ строит карту состояний светофоров всего города в текущий момент времени. Далее данная карта передается посредством сети Интернет на клиентские приложения водителей-пользователей.

Вторая часть системы МПВ является клиентским модулем (КМ) на личном смартфоне водителя. Каждый водитель может добровольно установить такое приложение на свой смартфон и сможет динамически получать карту состояний светофоров города. КМ считывает через интернет-карту состояний светофорных объектов города, далее с помощью GPS-передатчика определяет свое текущее местоположение и параметры движения (скорость, ускорение). На основании этих данных КМ рассчитывает направление и скорость движения транспортного средства, далее определяет состояния светофорных объектов на пути следования и выводит на экран мобильного устройства рекомендованную стратегию вождения. Под стратегией вождения подразумевается скорость и ускорение движения, которые могут обеспечить безостановочный проезд светофорного объекта без снижения скорости и соответственно без потери энергоресурсов.

Причем система учитывает параметры работы дополнительных секций светофора и рекомендует стратегии для всех возможных направлений движения водителя.

На основании этих данных водитель выбирает оптимальную на его взгляд стратегию поведения и следует ей.

Рассмотрим более подробно поведение отдельных участников дорожного движения на участке дороги между двумя перекрестками, которые оборудованы светофорными объектами (рис. 1) с учетом предложенной системы.

Так как светофоры работают в режиме жесткого регулирования движения, известны точные времена переключения сигналов светофора. Исходя из расстояния до перекрестка и скорости движения транспортного средства, для безостановочного проезда через перекресток формируется дискретное множество скоростей {v1, v2, v3, …, vn}. Выбирая конкретную скорость из данного множества, водитель гарантирует проезд без остановки, при условии отсутствия чрезвычайных ситуаций.

Рассмотрим ситуацию автомобиля А1 (рис. 1). В данной дорожной ситуации водителю автомобиля А1, который находится очень близко к перекрестку, системой будет предложено несколько стратегий поведения:

S1, увеличить скорость движения до величины из множества {v1, v2, v3, …, vn} км/ч.

S2, уменьшить скорость движения до величины из множества {v1, v2, v3, …, vn} км/ч. (На очень малых расстояниях минимальной величиной может быть 0 км/ч, что значит остановку транспортного средства).

S3, оставить скорость движения неизменной, так как она является оптимальной для проезда на зеленый сигнал светофора {vi}.

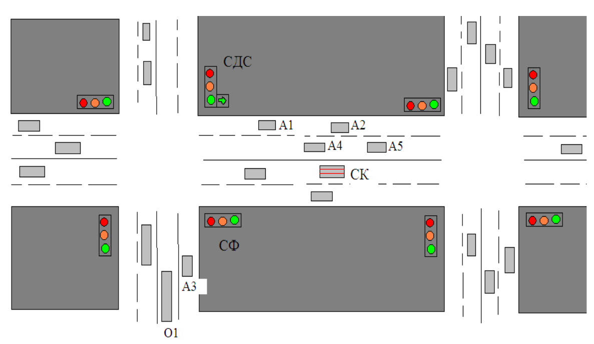



Рисунок 1 – Перегон магистрали между перекрестками

На основе данных рекомендаций водитель автомобиля А1 выберет наиболее оптимальную на его взгляд стратегию поведения. Водитель при выборе стратегии поведения будет учитывать правила дорожного движения (ограничение скорости движения), характеристики транспортного средства (расход топлива, динамику при ускорении, торможении и т.д.), погодные условия (сухой / мокрый асфальт, видимость и т.д.).

Вероятно в данном случае водитель автомобиля А1 выберет более высокую скорость (с учетом ПДД) для проезда перекрестка, чем автомобили А2, А4, А5. Водители автомобилей А2, А3, А4, находясь значительно дальше, выберут меньшие скорости движения, чтобы преодолеть перегон за время горения красного сигнала светофора. Причем, водитель А4 будет снижать скорость до некой величины vi из множества S2 (стратегия снижения скорости), так как он ближе всех к перекрестку; водитель А2 сохранит свою скорость, выбрав стратегию S3. Водитель А5 увеличит скорость, выбрав стратегию S1. Таким образом, водители данных автомобилей сформируют так называемую пачку автомобилей, которая будет двигаться в наиболее оптимальном режиме.

В аналогичной ситуации окажется водитель автомобиля А3, с той лишь разницей, что для него также будет предложена стратегия с учетом движения на дополнительную секцию. Водитель автобуса О1 учтет технические характеристики и расписание маршрута при выборе стратегии проезда перекрестка. Водитель скорой медицинской помощи СК выберет максимальную скорость движения с учетом дорожной обстановки для следования по вызову.

# Пересечение зоны дилеммы с мобильным помощником водителя

Наиболее приемлемым и обширным методом для исследования механизма столкновений с ударом сзади является метод зоны дилеммы. Эта зона наиболее часто возникает у водителя, когда он, находясь на некотором расстоянии от регулируемого перекрестка, видит, что для него загорается желтый сигнал и в данной ситуации ему необходимо сделать выбор между остановкой и проездом регулируемого перекрестка с ускорением.

МПВ является надежным, выверенным средством, обеспечивающим бесконфликтный проезд регулируемых перекрестков. Без МПВ водитель самостоятельно принимает нелегкое решение о пересечении, либо не пересечении перекрестка в межфазный

светофорный период (переход от зеленого сигнала к желтому). Конечно, эту задачу облегчает табло обратного отсчета на светофорном объекте (СФО). Но, преимущественно, большинство СФО не оборудованы таким табло из-за нежелания городских властей нести дополнительные затраты.

Табло обратного отчета становится полезным только на близких подъездах к СФО. Если же автомобиль находится слишком далеко от СФО, то водитель не видит его и не может сориентироваться в сложившейся ситуации.

Исключают зону дилеммы, а с ней и аварии на перекрестках адаптивные системы управления СФО [5], работающие по разрыву в транспортном потоке. В этом случае переключение СФО, а, следовательно, и переходной процесс приходится на момент, когда отсутствует подъезжающий к СФО транспорт.

Аварии на перекрестках связаны с неверным выбором варианта «перекресточной дилеммы». В большей мере это связано с психологическими качествами водителя.

Различают три типа водителей: осторожный, рискованный, а также промежуточный между первыми двумя. С первым типом водителей связаны аварии перед перекрестком: еще есть время для въезда на перекресток, а водитель, тем не менее, резко тормозит. В него «въезжает» автомобиль, следующий за ним.

Рискованный водитель может въехать на перекресток, когда времени для проезда у него не осталось, и таким образом спровоцировать аварию на перекрестке.

Промежуточный (колеблющийся) тип водителей может создать аварийную ситуацию по причине неуверенных действий. Например, сначала он решил ускориться и проехать СФО, а затем резко затормозил и остановился у стоп-линии по причине неуверенности в том, что сможет проехать СФО на желтый сигнал.

Граница между этими типами водителей весьма условна, расплывчата и нечетка. Особенно это относится к промежуточному типу. Сегодня до обеда он осторожен, а после обеда становится рискованным, и прочее.

Рассмотрим подробнее зону дилеммы. Зона дилеммы определяется исходя из двух расстояний: Smin1 – минимальное расстояние до стоп-линии, при котором автомобиль остановится перед стоп-линией при использовании аварийного замедления j1. Smin2 – минимальное расстояние до стоп-линии, при котором автомобиль остановится перед стоп-линией при использовании служебного замедления j2 [6]. Для определения местоположения зоны дилеммы используется еще одно расстояние Smax – максимальное расстояние до стоп-линии, при котором автомобиль может проехать регулируемый перекресток (РПК) в течение действия переходного интервала. Данное расстояние необходимо внести в модель зоны дилеммы (т.е. определять зону дилеммы, исходя из трех приведенных расстояний). Для этого есть несколько причин: во-первых, не все автомобили, находящиеся вблизи стоп-линии или же в зоне дилеммы (классической, при решении проезда РПК), могут успеть проехать РПК в течение действия переходного интервала; во-вторых, на регулируемых объектах вероятность столкновений с ударом сзади в значительной мере зависит от параметров светофорного регулирования, а в первую очередь, от величины переходного интервала, а Smax – это расстояние, характеризующее данный интервал.

На рис. 2 изображен случай, когда Smax < Smin1 < Smin2. Водитель автомобиля, находящегося в зоне A, имеет в своем распоряжении только одно, единственно верное решение, то есть проезд РПК (так как до стоп-линии он уже безопасно остановиться не сможет). Водитель автомобиля, находящегося на расстоянии до стоп-линии меньшем, чем Smin1, то есть в зоне E (не говоря уже о зоне B), также до стоп-линии безопасно остановиться не успеет. Если автомобиль находится на расстоянии (Smin2 – Smin1) от стоп-линии в зоне H, то водитель сможет остановиться при замедлении j2 < j < j1

(то есть меньше аварийного, но больше служебного). При нахождении на расстоянии Smin2 и более, водитель сможет остановиться с замедлением j <= j2 соответственно.

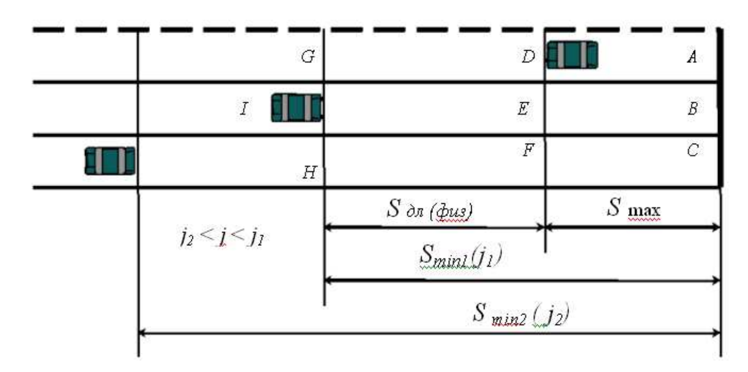



Рисунок 2 – Расположение физической зоны дилеммы
в случае Smax < Smin1 < Smin2

В зоне D возникает физическая зона дилеммы, то есть водитель не сможет проехать безопасно РПК, так как находится на расстоянии до стоп-линии большем, чем Smax, и не сможет безопасно остановиться у стоп-линии, так как находится на расстоянии меньшем, чем Smin1. Следовательно, в данном случае зона дилеммы ограничена расстояниями Smin1 и Smax.

На рис. 3 изображен случай, когда (Smax = Smin1) < Smin2. Водитель автомобиля, находящегося в зоне А, имеет единственную возможность проезда РПК, а водитель автомобиля, находящегося на расстоянии Smin1 до стоп-линии, может успеть остановиться только при использовании аварийного замедления. В зоне Н водитель имеет возможность остановиться с замедлением j2 < j < j1. На расстоянии Smin2 и более – остановиться с замедлением j2 и j < j2 соответственно. В данном варианте зона дилеммы отсутствует. Если аварии будут случаться при таких условиях, то естественно они будут являться следствием грубых ошибок водителей (или их нерешительности в принятии решений), так как в данном случае зона дилеммы на принятие водителями решений не влияет.

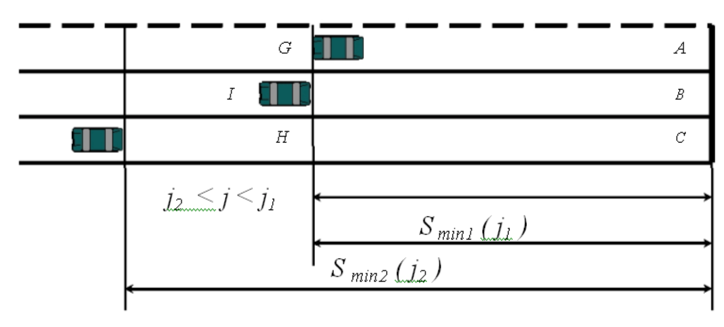



Рисунок 3 – Зона дилеммы отсутствует в случае (Smax = Smin1) < Smin2

На рис. 4 изображен случай, когда Smin < Smax < Smin. Водитель, находящийся на расстоянии Smax и менее, то есть в зонах А или I), имеет возможность проехать РПК. Если автомобиль находится на расстоянии (Smin2 _ Smin1) до стоп-линии – в зонах I или E, то водитель сможет остановиться при замедлении j2 < j < j1. В данном случае зона дилеммы возникает в зоне E, причем классическая (то есть водитель имеет возможность как проехать РПК, так и остановиться с замедлением j3 < j < j1). Водитель автомобиля, находящегося в зоне H, имеет единственную возможность – остановиться с замедлением j2 < j < j3. Данный случай также безопасен, так как присутствует классическая зона

дилеммы. Здесь, так же как и в предыдущем случае, аварии случаются по вине водителей, из-за грубых нарушений Правил.

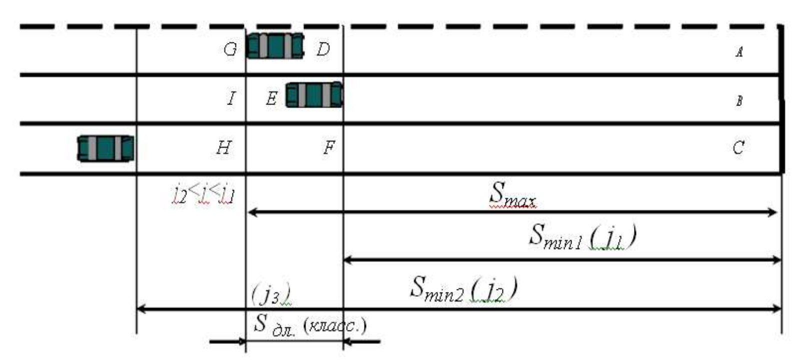



Рисунок 4 – Расположение классической зоны дилеммы
в случае Smin1 < Smax < Smin2

Таким образом, зона дилеммы – это одновременное «нехорошее» совпадение пространственного положения автомобиля перед СФО и межфазного состояния СФО. Причем возникает такая ситуация регулярно и устранить ее может только МПВ, который уводит водителя от зоны дилеммы путем рекомендаций к определенному образу действий.

Вторым фактором неверного выбора водителем решения дилеммы (продолжить движение с ускорением, либо затормозить) является отсутствие информации о геометрических параметрах перекрестка. Особенно это касается водителей, впервые пересекающих данный перекресток. На протяженном перекрестке можно не успеть выполнить маневр разъезда и создать аварийную ситуацию.

Предложенная система позволяет нивелировать психологические различия водителей. Она рассчитывает и рекомендует водителю самый оптимальный вариант решения дилеммы перед СФО, а также заблаговременно просчитывает стратегию проезда перегона магистрали между двумя смежными СФО таким образом, чтобы проехать очередной СФО без остановки.

Так, если водитель поздно въехал на перегон магистрали и, следовательно, не успевает проехать в текущей зеленой фазе СФО, то система рекомендует ему снизить скорость (указывает величину скорости). При этом система просчитывает эту скорость, исходя из расстояния до СФО, на котором находится автомобиль, таким образом, чтобы подъехать к началу следующей зеленой фазы СФО.

Если автомобиль на перегоне магистрали имеет скорость, недостаточную для подъезда к СФО в период зеленой фазы, но у него имеется ресурс для ее увеличения без превышения максимального порога скорости, то водителю об этом сообщается. Этим действием формируется задний фронт пачки автомобилей, которые могут пересечь перекресток в текущей зеленой фазе СФО.

# Выводы

В данной работе предложена система поиска оптимальной стратегии поведения водителя для безостановочного проезда перекрестков города. Рассмотрены ее принципы действия и проанализированы результаты использования такой системы в рамках всей транспортной системы. При проезде регулируемого перекрестка в межфазовый светофорный период МПВ обеспечивает водителя четкими инструкциями о характере движения, тем самым исключает зону дилеммы, что приводит к уменьшению аварийности на перекрестке. Планируется разработка данной системы под все существующие мобильные платформы для обеспечения максимальной доступности водителям. В дальней-

шем будет проведено определение количественных характеристик эффективности работы такой системы в транспортной сети, построена более подробная модель самоорганизующейся транспортной системы.

# Литература

1. Cassenbaum O. Supervisory control of hybrid powertrains / O. Cassenbaum // Proceedings of the International Congress of Heavy Vehicles, 6-9 October 2010. – Minsk, Belarus : Road Trains and Urban Transport.
2. Koukoumidis Peh. Martonosi Signal Guru : Leveraging Mobile Phones for Collaborative Traffic Signal Schedule Advisory / Peh. Koukoumidis // MobiSys’11, June 28 – July 1, 2011, Bethesda, Maryland, USA.
3. Егоров В. Зеленая волна / В. Егоров [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://icarbio.ru/articles/zelenaja-volna.html, 08.09.2012
4. Плотников А.Г. Указатель оптимальной скорости / А.Г. Плотников [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://delovar.info/idea/izobr/view=7924, 08.09.2012
5. Anfilets S. Evaluating The Effectiveness Of The Adaptive Control System In Brest Region / S. Anfilets, V. Shut // International Congress Of Heavy Vehicles, Road Trains And Urban Transport. – Минск, 2010. – С. 222-226.
6. Ходоскин Д.П. Определение местоположения зоны дилеммы с учетом опыта отечественных и зарубежных исследований / Д.П. Ходоскин, О.А. Шевель / Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов : сборник научных трудов. – Минск, 2011. – С. 153-155.

# Literatura

1. Cassenbaum O. Supervisory control of hybrid powertrains / O. Cassenbaum // Proceedings of the International Congress of Heavy Vehicles, 6-9 October 2010. – Minsk, Belarus : Road Trains and Urban Transport.
2. Koukoumidis Peh. Martonosi Signal Guru : Leveraging Mobile Phones for Collaborative Traffic Signal Schedule Advisory / Peh. Koukoumidis // MobiSys’11, June 28 – July 1, 2011, Bethesda, Maryland, USA.
3. Egorov V. Zelenaja volna / V. Egorov. – Rezim dostupa : http://icarbio.ru/articles/zelenaja-volna.html, 30.05.2012.
4. Plotnikov A.G. Ukazatel optimalnoj skorosti / A.G. Plotnikov. – Rezim dostupa : http://delovar.info/idea/izobr/view=7924, 30.05.2012.
5. Anfilets S. Evaluating The Effectiveness Of The Adaptive Control System In Brest Region / S. Anfilets, V. Shut // International Congress Of Heavy Vehicles, Road Trains And Urban Transport. – 2010. – С. 222-226.
6. Hodoskin D.P. Locating the dilemma zone based on the experience of domestic and foreign research / D.P. Hodoskin, O.A. Shevel // Improvement of traffic management and transport of passengers and cargo. Collection of scientific papers. – Minsk, 2011. – P. 153-155.

.

***RESUME***

***V.N. Shut, A.L. Sogoyan***

## *The Organization of Adaptive Motor Traffic in the Road Network of the City*

To solve the problem of traffic congestion city networks redundant traffic volumes today are different approaches based on the laws of the formation of traffic in cities. Despite the large number of studies carried out in separate stages of formation of traffic flows, many questions remain poorly understood. Improving the transport system in the direction of modernization of the external assets of the organization of traffic flow often brings significant benefits, but, as a rule, is costly from the city and state budgets.

In such a situation, it may be more efficient optimization of the behavior of drivers while driving (controlling the inside). The implementation of such a system will be conducted through the existing infrastructure of mobile devices that are now almost everyone. A fundamentally new approach and look at the traffic flow. Need to see their role not as an inescapable reality, the management of which is possible only outside, but also as an object that can generate and build according to our ideas and goals of optimal control.

*Статья поступила в редакцию 18.04.2013.*